Föreläsningsunderlag
TSIU05 Mätteknik EL/Di
—
Föreläsning 1–3

Michael Josefsson

18 oktober 2019

Innehåll

1 Likström DC (Direct Current)

1.1 Ström

Elektrisk ström är ett flöde av elektroner från en högre potential mot en lägre. Ström mäts i enheten *ampere*. Elektronen har en laddning av $1.6 \cdot 10^{-19}$ C (Coloumb) vilket gör att laddningen en coloumb (1 C) motsvarar $\frac{1}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 6.2 \cdot 10^{18}$ elektroner. Strömstyrkan 1 ampere motsvarar ett flöde av alla dessa $6.2 \cdot 10^{18}$ elektroner på en sekund.

Ett material som leder ström kallas för ledare och ett som inte leder ström är en isolator. För att ström skall kunna uppstå måste det finnas en väg för strömmen att flyta, vi pratar om en *sluten strömkrets*.

Om vi till exempel har en kretsen

förstår vi att den är sluten då det finns en väg för strömmen att gå från hög potential till låg.[1]

Elektronerna kommer från en *strömkälla*, detta kan vara ett batteri, spänningsaggregat, solceller eller någon annan form av generator. Om vi sätter en räknare som räknar antalet elektroner som passerar genom tråden under 1 sekund, och omvandlar detta till antalet coloumb får vi strömstyrkan i ampere.

För att mäta strömstyrka måste vi alltså ansluta vårt mätinstrument i den elektriska kretsen så att **strömmen går *igenom* mätaren**. En större ström ger då ett större utslag på instrumentet.

En perfekt, ideal, amperemeter skall inte påverka strömmen och får inte hindra elektronernas framfart.

Vanliga strömstyrkor varierar i storleksordningen från milliampere (i mindre elektronik) till ampere eller tiotals ampere (laddström till bilbatteri och inte minst moderna datorprocessorer som är enorma strömförbrukare).

Exempel

> Om 1 miljard elektroner passerar genom en ledare på en sekund motsvarar detta en ström av $1 \cdot 10^{9} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$ C/s $= 1.6 \cdot 10^{-10}$ ampere. Det går åt en hel massa elektroner — i det här fallet $\frac{1}{1.6 \cdot 10^{-10}} = 6.2 \cdot 10^{9}$ stycken — även för en mycket liten ström!

[1] Man hade otur när man en gång i tiden bestämde att *strömmen* går från hög till låg potential eftersom *elektronerna* faktiskt går åt andra hållet:) Nåja, om vi tänker oss ström som ”positiva elektroner” så löser det sig för oss, även om det strängt taget är helt fel. . .

■

1.2 Spänning

Vi skrev just att strömmen går från en högre potential mot en lägre. Det är *skillnaden mellan potentialerna*, som avgör hur villig strömmen är att flyta. En större potentialskillnad ger större strömstyrka i kretsen ovan. Denna potentialskillnad kallar vi *spänning* och vi mäter den i enheten *volt*, V. Det är spänningen som driver elektronerna att flytta på sig.

> Man kan jämföra detta med ett vattenfall om man vill. Vatten på hög höjd vill ramla nedåt. En elektron på en hög potential kommer att ramla ner till en lägre potential om den kan. Vattnet har en potentiell energi (lägesenergi, mgh) som den kan omvandla till kinetisk energi (rörelseenergi, $\frac{mv^2}{2}$) och därvid uträtta ett arbete. Elektronen uträttar på liknande sätt ett arbete om den ”faller” från hög potential till en lägre. Vi förstår att det är potentialskillnaden, dvs spänningen, som avgör vilket arbete som kan utföras. Arbetet, W, som uträttas när man lyfter en laddning, Q, (*mot dess vilja* så att säga) till den högre potentialen är lika med laddningen gånger spänningen, U, dvs $W = Q \cdot U$.

En *spänningskälla* har två kontakter, en för den lägre potentialen och en för den högre. Mellan dessa utgångar kan man alltså mäta dess spänning. Vanligtvis kallar man den lägre spänningen för ”jord”[2] och den har då potentialen 0 V.

För att **mäta spänning** måste vi ansluta vårt mätinstrument ***mellan* de två potentialerna**. En större potentialskillnad ger då ett större utslag på instrumentet. I en perfekt voltmeter går det ingen ström, den känner av spänningen utan att påverka mätningen.

[2]Detta språkbruk är en relikt från tidigt 1900-tal eller ännu tidigare och har levt kvar i folkmun så vi kan inte undvika det här. Mer exakt skulle vi kalla den ”noll volt”.

1.3 Ideala källor

För att beskriva verkligheten runt oss i matematiska termer måste vi ofta idealisera situationen och bortse från mindre ovidkommande detaljer. Ideala källor är en sådan idealisering.

En ideal **strömkälla** levererar alltid sin ström utan att tveka, oavsett hur stor ström man försöker ta ut ur den.

En ideal **spänningskälla** håller alltid sin spänning mellan sina utgångar, oavsett hur många elektroner man tar ut från den.

Nu finns det inga ideala källor i verkligheten varför vi lite lösare kan säga att *en spänningskälla skall hålla sin inställda spänning* och *en strömkälla skall hålla sin inställda ström*. De spännings- och strömkällor vi kommer i kontakt med lyckas också med detta över ett stort spännings- och strömområde. Ideala källor är praktiska för att beskriva en del grundläggande elektriska egenskaper.

1.4 Resistans

Om vi kopplar upp en ideal spänningskälla och kortsluter de båda utgångarna kommer en oändligt stor ström att uppstå om vi inte passar oss. Den ideala spänningskällan har ju egenskapen att, under alla förhållanden, upprätthålla spänningen mellan sina utgångar! En direkt följd av detta blir då att den också kan leverera oändligt stor *ström*.

Vill vi inte ha denna enorma ström kan vi begränsa möjligheten för elektronerna att gå från hög till låg potential genom att låta strömmen gå igenom en *resistans*, R, som mäts i enheten *ohm*, Ω.

> En vanlig liknelse är hur man begränsar ett vattenflöde genom att förtränga kanalen vattnet går igenom (tänk på hur lågt vattentrycket är i änden på en lång trädgårdsslang, eller gör en knyck på slangen — ”motståndet” ökar, flödet minskar). På liknande sätt kan man tänka sig att en resistans gör vägen för elektronerna trängre och då kan de inte rusa fram i samma takt, dvs man begränsar strömmen.

Detta leder oss fram till en central lag för elektricitet, ohms lag, som beskriver sambandet mellan spänning, U, ström, I, och resistans, R:

$$I = \frac{U}{R}$$

Praktiskt vanliga resistansvärden varierar mellan cirka 100 ohm till 100 kohm, fast både större och mindre återfinns i speciella sammanhang.

Exempel

> Vi har en ideal spänningskälla på 12 volt. Ur den vill vi dra en ström på 50 mA. Hur stor begränsningsresistans skall vi välja?

■

Exempel

> Genom en resistans på 500 ohm flyter en ström av 0.23 A. Hur stor spänning ligger över resistansen?

■

1.5 Potentialvandring/Kirchoffs lagar

Vi måste kunna genomföra beräkningar på elektriska kretsar så att vi kan hitta strömmar, spänningar och resistanser. Med *potentialvandring* kan vi skriva upp matematiska ekvationer för kretsen som vi sedan löser för att få reda på de önskade storheterna.

Exempel

> En elektrisk krets består av tre motstånd efter varandra. Motståndsvärdena är 120 ohm, 560 ohm och 1.2 kohm räknade från jord (0 V). Kretsen matas med en spänningskälla på 24 volt. Vilken är strömmen genom respektive motstånd?

Notera hur vi här samtidigt lyckats framställa en formel för en ersättningsresistans till N seriekopplade resistanser.

$$R_{\mathrm{TOT}} = R_1 + R_2 + \ldots + R_N$$

Räknar vi resistanser i enheten kohm och spänningar i volt ger detta automatiskt strömmar i mA direkt, vilket är mycket praktiskt och det är så vi gör normalt, dvs som ovan

Vi ser att samma ström går igenom alla tre motstånden. Med ohms lag kan vi också beräkna vilken spänning som ligger över varje motstånd:

Med början vid noll volt kan vi till höger addera de olika spänningarna under en *potentialvandring*. Naturligtvis kommer de olika spänningarna summeras till 24 volt, lika mycket som påfördes med hjälp av spänningskällan. Fullföljer vi vandringen ner till noll volt igen (och adderar spänningskällan med omvänt tecken eftersom vi går mot strömmen i den!) ser vi att summan av spänningarna i denna krets är noll.

Detta gäller generellt och går under namnet Kirchoffs andra lag, spänningslagen K_{II}: **Summan av spänningarna i en sluten strömkrets är noll — med hänsyn taget till spänningarnas tecken**.

Herr Kirchoff är också skyldig till en första lag, strömlagen K_I: **Summan av alla strömmar i en sluten strömkrets är noll — med hänsyn taget till strömmarnas tecken**.

I elektroniken använder man dessa lagar hela tiden. Egentligen är de helt naturliga, de elektroner som vi pytsar in i en krets måste också komma ut därifrån. I annat fall skulle de samlas på hög någonstans, och då har vi att göra med något som inte består av ström-/spänningskällor och resistorer. Då kan det röra sig om uppladdningsbara batterier till exempel.

1.6 Serie- och parallellkoppling

I potentialvandringsexemplet ovan hade vi tre motstånd på rad och vi såg att ohms lag direkt gav att vi kan **seriekoppla** N spänningskällor eller resistanser enligt

$$U_{\mathrm{TOT}} = U_1 + U_2 + \ldots + U_N$$
$$R_{\mathrm{TOT}} = R_1 + R_2 + \ldots + R_N$$

För **parallellkoppling** (som ofta anges med ”//”) av strömkällor eller resistanser gäller på motsvarande sätt

$$I_{\mathrm{TOT}} = I_1 + I_2 + \ldots + I_N$$
$$\frac{1}{R_{\mathrm{TOT}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_N}$$

I början kan det vara lite förvirrande att se vad som är serie- respektive parallellkoppling. Kom då ihåg att i en ***seriekoppling*** går **samma *ström*** genom komponenterna, medan vid ***parallellkoppling*** det är **samma *spänning*** över komponenterna. Efter lite träning ser man detta helt automatiskt.

Vi förtydligar med hjälp av ett schemaexempel följt av förenklade *ekvivalentschema*:

Här ser man att R_1 och R_2 är parallellkopplade och dessa sedan parallellkopplade över batteriet. Batteriet består av en spänningskälla seriekopplad med en inre resistans. Notera vilka komponenter som har samma ström respektive samma spänning om det behövs.

> > > Dessa lagar för serie- och parallellkoppling måste memoreras. < < <

Specialfallet med två resistanser är förvånansvärt användbart så det måste vi också lära oss utantill.

Exempel

Specialfall: Parallellkoppling av två resistanser, R_1 och R_2.

Fundera på varför det alltid är så att $R_1 /\!\!/ R_2 \leq$ minsta av (R_1 och R_2).

Vad blir $R_1 /\!\!/ R_2$ om $R_1 = R_2$? Fundera först, räkna sedan.

■

Notera hur vi här utelämnat kombinationerna med seriekoppling av strömkällor respektive parallellkoppling av spänningskällor. Varför? Vad händer i dessa fall?

1.7 Spänningsdelning

Med hjälp av potentialvandring och kunskaperna om serie- och parallellkoppling kan vi härleda ett mycket användbart samband: *Spänningsdelningslagen.*

Spänningsdelning handlar om att beräkna den delspänning U_{ut} som vi får i nedanstående krets:

1/ Enligt K_{II} (Kirchoffs andra lag) kan vi beräkna den ström som går genom resistorerna R_1 och R_2 (och det är ***samma ström*** genom båda eftersom de sitter i ***serie*** med varandra). Spänningen U ligger över denna seriekoppling dvs över $R_1 + R_2$ och strömmen kan beräknas med ohms lag.

2/ Med ohms lag applicerad på R_1 och R_2 räknar vi ut spänningen det nedre motståndet som är U_{ut}.

Det här kan man lära sig som en formel om man vill men det är nästan enklare att använda resonemanget ovan varje gång. Att resonera sig fram till det ger dessutom en förtrogenhet vid ”tänket” som är nyttigt framöver.

Övning: Vilken blir spänningen U_{ut} om utgången förses med ett belastningsmotstånd R_L ($_L$ = LOAD, last)? Innan du börjar räkna: Fundera! Blir spänningen högre? Lägre? Samma?

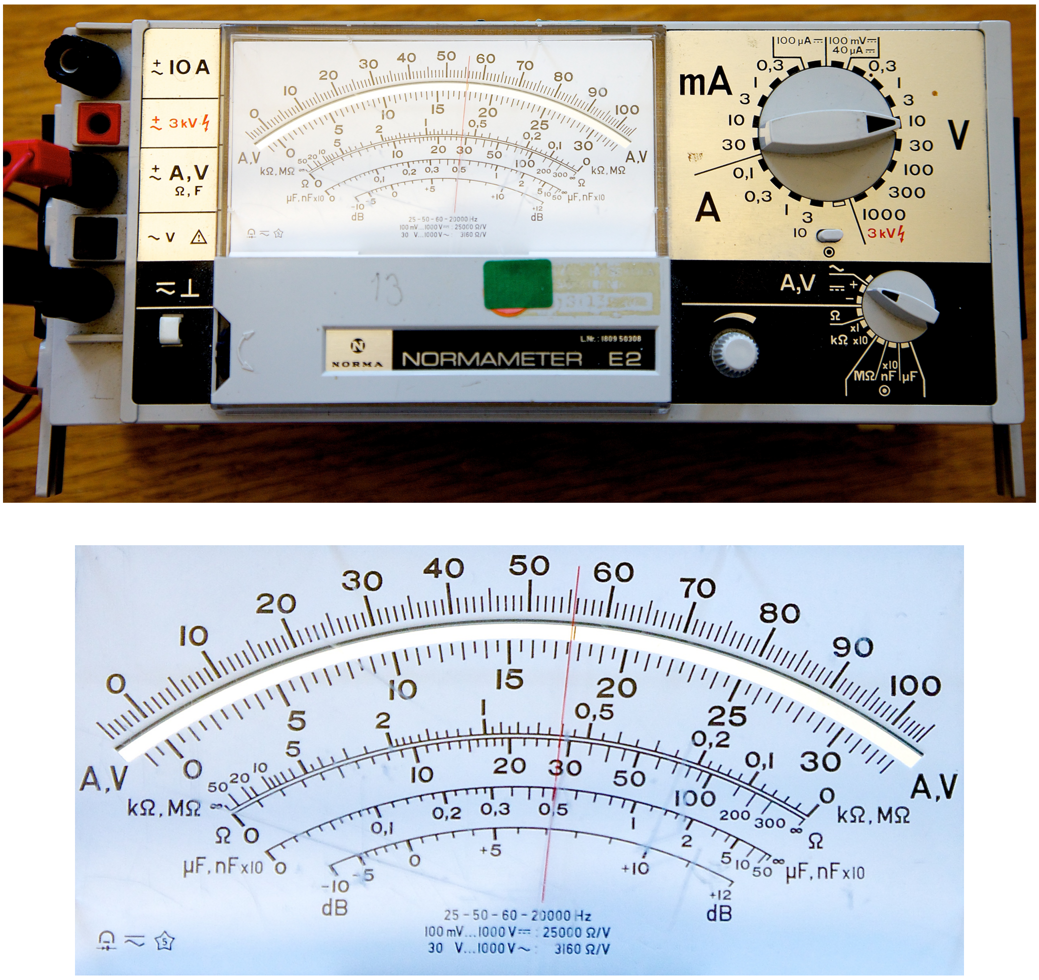
1.8 Spännings- och strömmätning

*Obs! **Ström**mätning sker **genom** mätobjektet och **spännings**mätning **över** detsamma.*

Ström-mätning En amperemeter kan läsa av hur många elektroner som flödar genom den, den mäter strömmen. För att mätningen inte ska påverka det flödet inser vi att mätaren måste ha en mycket liten inre resistans, helst noll ohm. Tidigare utgjordes amperemetern ofta av ett så kallat *vridspoleinstrument*. Vridspoleinstrumentet består huvudsakligen av en spole som strömmen får gå igenom varvid spolen blir en elektromagnet. Styrkan på dess magnetfält påverkar en visares utslag lineärt och man kan direkt läsa av strömstyrkan.[3]

I ett *universalinstrument* ingår en vridspole på detta sätt:

[3] På http://www.youtube.com/watch?v=dWewbOE-g3o visas principen för ett sådant vridspoleinstrument. Filmsnutten är på tyska men man förstår nog ändå.



Universalinstrumet med vridpole.

> Skalan är graderad i bl a ampere, volt och ohm. Med stora vredet till höger väljer man mätområde. För mätområdena 1, 10, 100 osv avläses värdet på övre yttre skalan och för områdena 3, 30, 300 osv avläses på övre inre skalan. Mellan övre yttre och inre skalan finns en spegel så att man kan avgöra när man avläser instrumentet rakt ovanifrån för att undvika *parallaxfel*.

Universalinstrument med vridspole kan tyckas föråldrade men är på flera sätt både tillräckliga och överlägsna sina digitala motsvarigheter: oftast är man inte på jakt efter de sista decimalerna i mätvärdet[4] och man får snabbt en uppfattning om signalens storlek och eventuella variation. På ett digitalt instrument kan det vara mycket svårt att avläsa en varierande signal då siffrorna fladdrar hela tiden. Många siffror på displayen är dessutom inte alltid liktydigt med god mätnoggrannhet.

Med ett vridspoleinstrument kan man mäta ström upp till instrumentets maximala utslag, vilket ofta är 100 μA eller 1 mA. Med yttre motstånd kan mätområdet ökas:

[4]Och bara på mycket dyra instrument kan man lita på alla siffrorna också!

Exempel

> Konstruera en amperemeter som kan mäta upp till 1 A med hjälp av ett visarinstrument som mäter 1 mA vid fullt utslag och vars spole utgör ett motstånd av 100 ohm.[5]

Tekniken är att i 1 A-mätaren använda **strömdelning** på så sätt att när 1 A går genom tvåpolen går 1 mA genom visarinstrumentet. Då strömdelning är lineär kommer instrumentet då också visa 0.5 mA vid 0.5 A genom tvåpolen osv, vilket är precis vad vi vill.

Vilken inre resistans har 1A-mätaren? Vilket spänningsfall ligger över 1 A-mätaren vid fullt utslag? Vilken effekttålighet behöver motståndet ha? Hur nära ideal är mätaren? Vad får det för konsekvens på det mätta värdet om mätaren inte är ideal?

■

Spänningsmätning Spänning kan vi mäta på liknande sätt, med samma visarinstrument. Då det, enligt ohms lag, är ett lineärt samband mellan spänning och ström kan vi mäta ström och sedan skala om resultatet till att betyda spänning.

Exempel

> Använd 1 mA-visarinstrumentet ovan för att tillverka en spänningsmätare som kan mäta mellan 0 och 50 volt.

I detta fall är knepet att seriekoppla visarinstrumentet med ett motstånd och dimensionera motståndet så att strömmen 1 mA går genom instrumentet då 50 V ligger över spänningsmätaren.

[5] En sådan amperemeter är alltså långt från ideal då 100 ohm är avsevärt i detta sammanhang.

Vilken inre resistans har 50 V-mätaren? Vilket spänningsfall ligger över 50 V-mätaren vid fullt utslag? Vad blir spänningsfallet över motståndet? Vilken effekttålighet behöver motståndet ha? Hur nära ideal är mätaren? Vad får det för konsekvens på det mätta värdet om mätaren inte är ideal?

1.9 DVM (Digitalvoltmeter), multimeter

Nuförtiden används nästan uteslutande digitala *multimetrar/universalinstrument* för att mäta spänning, ström och resistans. Förkortningen DVM (*Digital VoltMeter*) för multimeter förekommer även om den strängt taget är missvisande; instrumentet mäter ju mer än bara spännning. Det finns bättre och sämre, med påföljande varierande prislapp. För vårt bruk — och för allmän mätning — duger ett enkelt instrument för några hundralappar. De multimetrar för professionellt bruk som finns på marknaden stoltserar med högre mätnoggranhet och större tålighet mot felinkopplingar. Om vi behandlar vårt billiga instrument väl (dvs **inte** försöker mäta hur stor ström det är i vägguttaget eller resistansmäta på en spänningssatt krets. . .) är detta dock fullkomligt tillräckligt för alla praktiska mätningar.

Handhavande: Med den stora ratten i mitten väljer man vad man vill mäta: Likspänning (*DC*, V=), växelspänning (*AC*, V≈) eller resistans (R, Ω). När man mäter en okänd spänning eller ström är det viktigt att **börja mäta på det STÖRSTA området och sedan successivt minska området** om nödvändigt. Detta för att inte förstöra den känsliga elektroniken i instrumentet.

I normalfallet (mätning av likspänning, växelspänning, resistans och *små* strömmar) ska instrumentets testsladdar anslutas med **SVART** sladd till **COMMON** (jord, 0 volt) och **RÖD** sladd till **VΩmA**. Röd färg är *alltid* en indikator på högre potential. För 0 V används svart eller ibland blå färg. Detta är en generell konvention och vi försöker alltid hålla på den, även i labbarna. Alltså:

RÖD sladd	→	Positiv spänning
SVART sladd	→	Jord, 0 V
BLÅ sladd	→	Negativ spänning

Varning 1: För att mäta större strömmar (större än 250 mA) kopplas den röda testsladden till uttaget märkt **10A**. I detta läge är instrumentets interna skyddskretsar satta ur spel och råkar man mäta en större ström än detta är risken stor att instrumentet går sönder. Glöm inte att sätta tillbaka sladden i rätt uttag efter mätningen!

Varning 2: Mät inte spänning med multimetern i strömmätningsläge eller vice versa. Orsaken kan du räkna ut själv!

1.10 Spänningsaggregat

Det vanligaste sättet att spänningssätta sina konstruktioner i laboratoriet är att använda ett likspänningsaggregat. Ett sådant aggregat är en väggansluten apparat där man kan välja den utspänning man vill ha.

Men ett spänningsaggregat av den här typen kan ofta en hel del mer. Det kan vanligen leverera två variabla spänningar (exempelvis 0–20 V och 0–40 V) och dessutom en konstant spänning (5 V).

Eftersom den vanliga elektroniken på laborationerna oftast inte tål mer än 5 V har man utmärkta möjligheter att steka kretsar med ett sådant här aggregat!

> > > Koppla inte in din krets utan att först kontrollera TVÅ gånger att matningsspäningen är den rätta! < < <

Är du det minsta tveksam? **MÄT** isåfall upp spänningen med universalinstrumentet/multimetern **innan** du kopplar in den..

Spänningsinställningen är självförklarande: 1) Se till att den inbyggda mätaren i aggregatet är inställd på att mäta spänning. 2) Ställ sedan in önskad spänning med vredet.

Ströminställningen kräver dock lite mer förklaring. Spänningsaggregatet är försett med *strömbegränsande kretsar* internt. Dessa har till uppgift att se till att inte mer ström lämnar aggregatet än vad som är inställt med vredet. På så sätt kan man alltså får aggregatet att bete sig som en (nästan) ideal strömkälla.

Exempel

Strömbegränsning.

Du har en lampa som inte tål mer än 0.7 A genom sig. Du har dessutom ett spänningsaggregat med strömbegränsning till hands. För att försäkra dig om att inte förstöra lampan kan du ställa in spänningsvredet på 30 V och strömbegränsningsvredet fullt moturs, $\approx$0 A. Växla över mätaren till amperemätning. Kopplar du nu in lampan kan bara en mycket liten ström gå genom den, en ström som bestäms av strömbegränsningen i aggregatet. Om du nu sakta vrider strömbegränsningsvredet medurs tillåter du mer och mer ström att gå genom lampan och den börjar lysa. Aggregatet anpassar automatiskt spänningen till att hålla den inställda strömmen (ohms lag igen). På mätaren kan du se när strömmen är 0.7 A. Observera att denna ström hålls helt oberoende av spänningen — krävs det 5 volt för att få 0.7 A, så blir det så, krävs det 25.6 volt, så blir det så — strömmen blir inte större än 0.7 A oavsett.

■

Det här sättet att försiktigt spänningssätta en krets använder man vid en första *smoke-test* av en ny konstruktion. Det vore ju olyckligt att dra alla tillgängliga 2.5 amperen genom konstruktionen om någonting råkar vara feldimensionerat eller felkopplat. Med strömbegränsning upptäcker man allvarliga kortslutningar innan strömmen blir förstörande stor.

1.11 Ledningsresistans och temperaturberoende

Ledningsresistans Trådar av olika metaller har olika lätt för elektroner att passera. Vi pratar om trådens ledningsresistans. Metallerna guld, aluminium och koppar har låg resistans medan speciella legeringar (exvis Konstantan) har högre resistans. Egenskapen hos metallen kallas för dess *resistivitet*, ρ och hör samman med trådens totala resistans, R, genom formeln:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{a}$$

där l är trådens längd i meter och a dess tvärsnittsarea i mm^2.

Resistiviteten hos några olika material, vid 20° C, ges i tabellen nedan:

Material	$\rho\ (\Omega \cdot \frac{mm^2}{m})$
Guld	0.022
Aluminium	0.026
Koppar	0.017
Järn	0.97
Wolfram	0.056
Konstantan	0.49
Kanthal	1.39

Exempel

En rulle innehåller koppartråd av okänd längd. Diametern på tråden är 0.4 mm och resistansen mellan trådens båda ändar är 12 ohm. Hur lång är tråden?

■

Exempel

Till startmotorn i en bil används 1.5 meter ledare med en area av 10 mm^2 mellan batteriet och startmotorn. Startmotorn drar 150 A vid start och batterispänningen är 12 volt. Vilken är spänningen över startmotorn?

■

Övning: Om startmotorn måste ha minst 10 volt för att fungera tillfredsställande hur tunn kabel (diameter) kan man då tillåta?

Temperaturberoende Det visar sig att ledningsresistansen hos en tråd ändras med temperaturen. Ju lägre temperatur desto lägre resistans och vice versa. Resistansändringen är olineär men för praktiska temperaturer kan vi approximera med en lineär modell och ändå få tillförlitliga resultat. Man kan i allmänhet anpassa förändringar till ett polynom, så även här för resistansen som funktion av temperaturskillnaden $\Delta_\tau = \tau_2 - \tau_1$:

$$R_{\tau_2} = R_{\tau_1}(1 + \alpha_1\Delta_\tau + \alpha_2\Delta_\tau^2 + \ldots + \alpha_N\Delta_\tau^N)$$

Den lineära approximationen fås genom att klippa de högre (olineära) potenserna och kvar blir den betydligt enklare formeln (här förutsätts R_{20° vara resistansen vid rumstemperatur)

$$R_{\tau_2} \approx R_{20^\circ}(1 + \alpha_1\Delta_\tau) = R_{20^\circ} + R_{20^\circ}\alpha_1(\tau_2 - 20^\circ)$$

Temperaturkoefficienten anger hur känslig materialet är för upphettning och kan läsas ur tabellen:

Material	$\alpha \cdot 10^{-3}$ /°C
Guld	4.0
Aluminium	4.3
Koppar	3.9
Järn	6.6
Platina	3.7
Wolfram	4.5
Konstantan	–0.074
Kanthal	0.03

Exempel

Vilken är resistansen hos en 1 meters järntråd av 0.1 mm diameter som värms upp till 400° C?

■

Not: Normalt används tillräckligt grov tråd för att den ohmska resistansen inte skall spela någon roll. Likaså är en ”normal” temperaturförändring på några tiotals grader helt försumbar i förhållande till andra onoggrannheter i en elektrisk konstruktion. Men det går exempelvis utmärkt att tillverka temperatursensorer som känner av resistansförändringen om man så vill.

1.12 Inre resistans

Som exempel på en verklig spänningskälla kan vi studera ett batteri. I ett batteri är energin lagrad i kemisk form redo att omvandlas till elektrisk ström när vi använder batteriet. Hela energin kan dock inte omvandlas i ett ögonblick, isåfall skulle ett batteri vara en mycket farlig tingest!

Spänningen man mäter över batteriets poler kallas *polspänning*. Ett batteri som inte belastas, dvs om man inte drar någon ström ur det, har en polspänning som kallas *tomgångsspänning*. Drar man olika strömmar ur ett batteri kan man mäta att batteriet inte lyckas hålla sin polspänning konstant. Vid låga strömmar är polspänningen ungeför lika med tomgångsspänningen, men ju mer ström batteriet levererar desto sämre klarar det av att hålla sin polspänning.

I praktiken kan vi välja vilken ström vi vill dra ur batteriet genom att belasta batteriet med ett variabelt motstånd:

Som vi ser är det ett lineärt samband mellan ström och spänning, ökande strömuttag ger en proportionellt lägre polspänning.[6] Något hindrar strömmen från att flyta obehindrat. Detta *något* kan beskrivas som ett motstånd. Nu är vi redo att rita upp ett *ekvivalentschema* över ett batteri bestående av en ideal spänningskälla och detta motstånd, den så kallade *inre resistansen*, R_i.

[6] Ohms lag igen.

Vi ser att vid inget strömuttag ($I = 0$ A) kan vi läsa av polspänningen = tomgångsspänningen. Vid maximalt strömuttag ($R = 0$ ohm) begränsas strömmen av det inre motståndet, hela polspänningen ligger över det inre motståndet och den uppmätta polspänningen är lika med noll volt.

> > >Tänk igenom den sista stycket tills du förstår det helt!< < <

Exempel

Ett batteri ($U_0 = 1.5$ V) har en kortslutningsström, I_k, om 0.27 ampere. Vilken är dess inre resistans? Rita upp schema och figur över sambandet mellan ström och spänning.
Gör lösningen hemma på rutat papper

Spänningsaggregat har inre resistanser i storleksordningen något ohm eller mindre. Ett bilbatteri (12 V) kan ha kortslutningsströmmar på hundratals ampere och har således mycket liten inre resistans. Moderna batteritekniker försöker kombinera hög kapacitet (många coloumb elektroner) med hög strömförmåga (lågt R_i). Litium-polymer-batterier (LiPo) är exempel på de senare med enorm kapacitet och extremt lågt inre motstånd.

Viktigt: För våra ideala källor kan vi dra slutsatserna att den ideala spänningskällan har noll ohm inre resistans medan den ideala strömkällan har oändlig inre resistans.

Övning: Hur ändras linjen i diagrammet om polspänningen i tomgång höjs/sänks? Hur ändras linjen i diagrammet om inre resistansen ökar/minskar? Rita nya diagram för dessa fall.

1.13 Tvåpol

Vi har inte nämnt det än, men det kanske redan har lyst igenom, att vi kan reducera varje passivt nät av den typ vi använt hittills till en *tvåpol*. Genom att successivt identifiera och klumpa ihop parallellkopplingar och seriekopplingar enligt räknelagarna kan vi komma fram till en krets som består av *en* spänningskälla (eller strömkälla) och *ett* motstånd.

Vi exemplifierar med en analys av ett nät:

Efter att ha studerat det en stund ser vi ett antal förenklingar som kan utföras. Vi utför dessa förenklingar i tur och ordning och håller ordning på respektive resultatresistans på kortform:

Hela nätet kunde alltså, till slut, skrivas som en låda med två utgångar. En tvåpol.

En tvåpol kan bestå av antingen en ideal spänningskälla och inre motstånd *eller* en ideal strömkälla och inre motstånd och vi kan alltid byta en spänningskälla mot en strömkälla enligt nedan:

Det är omöjligt att utifrån avgöra vilken av tvåpolerna man mäter på. Utåt beter de sig på *exakt* samma sätt. Inom elektroniken använder man ofta sådana tvåpoler omväxlande för att underlätta beräkningar. Det är viktigt att inse att man alltid kan analysera komplicerade nät genom att först göra dem till enklare.

1.14 Arbete och effekt

Vi har tidigare konstaterat att elektronerna besitter möjligheten att utföra ett arbete, W. När de går runt i en strömkrets är arbetet lika med laddningen gånger spänningen, dvs $W = Q \cdot U$. Nu är ju laddning lika med ström gånger tid, $Q = I \cdot t$, varför man sammantaget kan skriva arbetet som $W = U \cdot I \cdot t$. Och då $U = R \cdot I$

Storheten "arbete per sekund" kallas *effekt*, förkortas P och mäts i enheten watt. Om vi dividerar de båda uttrycken ovan med tid (i sekunder) får vi alltså två uttryck för effekten, $P = \frac{W}{t}$:

I och med detta resultat kan vi beräkna vilken effekt som utvecklas i en resistor bara man vet resistansen och strömmen *genom* den eller resistansen och spänningen *över* den.

Exempel

> En resistor på 32 ohm ansluts till ett spänningsaggregat som är inställt på 14 volt. Vilken effekt kommer utvecklas i resistorn?

■

Detta betyder att man lämpligen inhandlar en resistor med effekttåligheten 10 watt. Är det mycket eller lite? Kommer man bränna sig på motståndet?

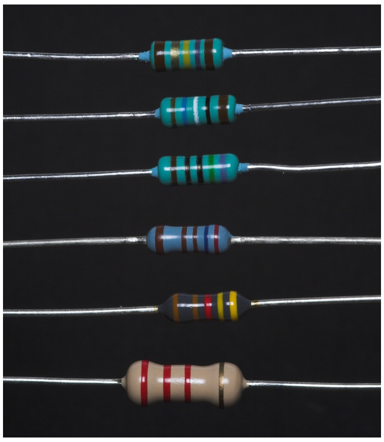
Exempel

Man ska tända en lysdiod. Till sin hjälp har man en spänning på 7 V. Genom lysdioden får gå strömmen högst 15 mA. Vilken värde (ohm) på resistorn måste användas? Vilken effekt kommer utvecklas i resistorn? *Vad* är det som utvecklar denna effekt?

■

1.15 Resistanser i verkligheten

Motstånd Hittills har vi använt termen resistans för ”saken som har ohm i sig”. Rena resistanser finns inte. Komponenten som innehåller resistans kallas för *motstånd* och består, förutom av resistansen i sig, även en liten mängd kapacitans (mellan anslutningsbenen) och en liten mängd induktans (i själva motståndskroppen). Dessa induktanser och kapacitanser är mycket små och är viktiga designparametrar vid konstruktioner för mycket höga frekvenser (>30 MHz) men är ointressanta för oss i nuläget. Det normala språkbruket är att vi pratar om **motstånd** rätt och slätt.



Några olika motstånd (från Wikipedia).

Motståndsvärden, E-serien Man kan tänka sig att man skulle vilja ha tillgång till alla möjliga motståndsvärden från 1 ohm upp till, säg, 100 000 ohm. Men det har man inte! Bland annat skulle det vara en tillverkningsmässig mardröm, för att inte tala om lagerhållningen av alla dessa motstånd med olika värden. Istället har man tillgodosett marknadens behov av motståndsvärden på samma sätt som Riksbanken har gjort för pengavalörer: Det finns enbart vissa förvalda värden. Det finns inga 7-kronor utan man får snällt addera en femma och två en-kronor.[7]

Beroende på typ av motstånd finns de i någon av serierna $E6$, $E12$, eller $E24$, där $E12$ är den absolut mest förekommande 12 värden i varje dekad med början på 1.[8] Således finns vanligen följande motstånd[9]:

10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
100	120	150	180	220	270	330	390	470	560	680	820
1k	1.2k	1.5k	1.8k	2.2k	2.7k	3.3k	3.9k	4.7k	5.6k	6.8k	8.2k
...											

I praktiken avrundar man sitt beräknade värde till något av dessa och gör en omräkning för att se att resultatet duger.

Färgmärkning Varje motstånds värde anges med en färgmärkning i form av målade band på komponenten. Till varje färg hör en siffra enligt de båda vänstraste kolumnerna

[7] Faktum är att myntvalörerna är logaritmiska, värdena 1, 2, 5 är de som vanligen finns i varje dekad dvs 1, 2, och 5 öre, 10, 25, 50 öre, 1, 2, 5, kronor, 10, 20, 50 kronor, 100, 500, 1000 kronor osv. För att inte behöva behöva använda många komponenter är dekaden i motståndsvärlden lite mer finkornig. Det finns till och med standarder över siffror att använda: `http://en.wikipedia.org/wiki/Preferred_number`.

[8] 12:te roten ur 10 som start.

[9] 10 ohm med 10 % tolerans blir mellan 9-11 ohm, 12 ohm med 10 % tolerans täcker upp från 11 ohm osv.

Color	Significant figures	Multiplier	Tolerance		Temp. Coefficient (ppm/K)	
Black	0	$\times 10^0$	–		250	U
Brown	1	$\times 10^1$	±1%	F	100	S
Red	2	$\times 10^2$	±2%	G	50	R
Orange	3	$\times 10^3$	–		15	P
Yellow	4	$\times 10^4$	(±5%)	–	25	Q
Green	5	$\times 10^5$	±0.5%	D	20	Z
Blue	6	$\times 10^6$	±0.25%	C	10	Z
Violet	7	$\times 10^7$	±0.1%	B	5	M
Gray	8	$\times 10^8$	±0.05% (±10%)	A	1	K
White	9	$\times 10^9$	–		–	
Gold	–	$\times 10^{-1}$	±5%	J	–	
Silver	–	$\times 10^{-2}$	±10%	K	–	
None	–	–	±20%	M	–	

I $E12$-serien förekommer bara två värdesiffror varför de två första banden ska tolkas som värdesiffor och det tredje bandet anger vilken tio-potens siffrorna hör. Man kan alltså inte hitta ett exvis 374 ohms motstånd i $E12$-serien, det finns inte!

Exempel

Översätt färg↔värde!

100 ohm	1k2	390k
47k	1M2	68k
820 k	brun-grön-gul	12 Ω
röd-röd-röd	brun-svart-röd	gul-lila-röd

■

Tolerans Om det finns ett fjärde band på motståndet anger detta motståndets *tolerans* i procent från märkvärdet. Tillverkaren garanterar att det faktiska motståndsvärdet ligger inom detta intervall, ofta används en- eller femprocentiga motstånd.

Specialmotstånd finns att köpa med ännu bättre tolerans men de är avsedda för noggranna instrument och normaler av olika slag. Behöver man precisionsmotstånd i sin konstruktion har man snarare troligen konstruerat fel!

Effekttålighet Motstånd tillverkas i olika effektåligheter från delar av watt till åtskilliga tio-tals. För laboratoriebruk är $\frac{1}{8}$-, $\frac{1}{4}$- eller $\frac{1}{2}$-wattstyperna vanliga. Ofta kan man använda exempelvis $\frac{1}{8}$-wattsmotstånd genom hela sin konstruktion.

3 Växelström AC (Alternating Current)

3.1 Inledning

Medan elektronerna i likströmsfallet bara går åt ett håll i strömkretsen går de i växelspänningsfallet både framåt och tillbaka. För att förenkla diskussionen antar vi hädanefter alltid sinusformade växelströmskällor om vi inte skriver något annat:

Vi ser i figuren ovan att spänningen ökar sinusformat från noll volt till ett toppvärde för att sedan sjunka till noll volt igen och därefter sjunka *ännu* lägre och gå mot ett negativt toppvärde. Med matematik kan man beskriva signalen som $u(t) = U \sin(\omega t)$, där ω är den s.k. *vinkelfrekvensen*, $2\pi f$, där f är frekvensen i hertz[1]. Den oberoende variabeln är tiden t.

En hel cykel återkommer efter ett varv, 360 grader, eller 2π om man räknar i radianer. Sinusvågens läge i sidled, förskjutning, kan nu anges genom dess *fasläge* med en siffra mellan noll och 360 grader.

Notera hur man här använder små bokstäver (gemener) på spänningar som ändras med tiden: Likspänningen U, men växelspänningen u. På samma sätt gör man med strömmar dvs I respektive i eller till och med $i(t)$ om man tydligt vill markera ett tidsberoende.

Låter man tiden rinna iväg får man flera omgångar, cykler, av denna sinusformade våg. Ur figuren kan man mäta upp hur lång tid det tar innan spänningen

[1] Det känns kanske underligt att blanda in ett begrepp som "vinkelfrekvens" när vi lika gärna kan multiplicera f med 2π och vara klara med det? Emellertid återkommer vinkelfrekvens så ofta att vi redan här introducerar användningen. Vinkelfrekvens är lite som ”frekvensernas radianer”: Vi är sedan gammalt vana att 360 grader utgör ett helt varv men i matematiska sammanhang är det mycket mer beskrivande att säga att ett varv är 2π. På liknande sätt räknar man hellre med vinkelfrekvens, ω, i radianer/s, än ren frekvens, f, i hertz.

upprepar sig, denna tid kallas *periodtiden* och anges normalt i storheten sekund.

Från fysiken vet vi att frekvens är periodtidens inverterade värde dvs

$$f = \frac{1}{T}$$

varför vi kan beräkna sinusspänningens frekvens om vi mätt upp dess periodtid.

Exempel

Vilken är frekvensen i figuren ovan?

■

3.2 Ohms lag för växelström

Studerar vi en krets med en resistans vet vi att ohms lag gäller; vid varje ögonblick är $U = RI$. Det visar sig att sambandet gäller även vid växelström.

Medan vi i likströmsläran ser ett motstånd som en resistans, pratar man i växelströmsläran istället om ett växelströmsmotstånd, en *impedans* Z. En impedans är komplexvärd med en realdel, resistansen R, och en frekvensberoende imaginärdel, resistansens växelströmssläkting *reaktansen*, $X(\omega)$. Man skriver $Z = R + jX$. Med impedansen uttryckt på detta sätt kan vi skriva ohms lag för växelström som

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + jX}$$

dvs impedansen Z har tagit över resistansens roll och **vi kan räkna på som förut**, fast det nu gäller växelström. Vi kan notera att $X(\omega)$ innehåller allt frekvensberoende i Z och om inget frekvensberoende finns är vi tillbaka i den ursprungliga ohmska lagen, $Z = R$.

3.3 Medelvärde, toppvärde och effektivvärde

Som vi vet befinner sig en sinuskurva lika mycket över som under nollnivån under en hel period. En sinusformad signals **medelvärde** är därmed lika med noll. Man definierar medelvärdet, U_m, av en spänning som integralen:

$$U_m = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi} u(t)dt$$

Det finns några andra begrepp som karakteriserar en växelspänning nämligen dess

- likspänningsförskjutning, U_{DC}, DC-offset
- effektivvärde, RMS-värdet
- topp-värde, U_p, *peak value*
- topp-topp-värde, U_{pp}, *peak-peak value*

En sinusformad växelspänning med amplituden A kan skrivas

$$u(t) = U_{DC} + A \cdot \sin \omega t.$$

Spänningens högsta värde kallas för **toppvärde**, U_p. I elektroniksammanhang är det vanligare är att man istället pratar om en signals **topp-topp-värde**, U_{pp}, med vilket man avser spänningen mellan signalens största värde och dess minsta värde. Genom att ange en signals topp-topp-värde tappar man information om dess eventuella likspänningskomponent, men man kan lätt beräkna till exempel signalens förstärkning.

Med **effektivvärde** (vilket speciellt i engelskspråkiga sammanhang kallas **RMS**, *Root Mean Square*) menas **storleken av den likspänning som i en resistans ger samma effekt som den givna växelspänningen**.

Det är effektivvärdet hos en växelspänning som multimetern mäter och den vi normalt anger när vi exempelvis säger att det är 230 volt i vägguttaget.

För sinusformad växelspänning, $u(t) = U_p \sin \omega t$, gäller sambanden

$$U_{\text{RMS}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\, U_p$$

dvs

$$U_p = \sqrt{2}\, U_{\text{RMS}}$$

Andra vanligt förekommande vågformer är:

Samtliga dessa kan naturligtvis ha olika amplitud, DC-offset, frekvens och, i förekommande fall, faslägen. Notera att vi genomgående använder versaler för värden som är konstanta (U, U_p, $U_{\text{RMS}}, \ldots$), dvs inte varierar med tiden, medan gemener används för tidsvariabla värden ($u = u(t), \ldots$).

3.4 Decibel

Det kan kännas naturligt att ange växelspänningar med effektivvärdet. Och när det gäller absoluta spänningsvärden gör man oftast så.

Det uppstår dock ofta en önskan att ange förhållandet mellan två *spänningsnivåer*, de må vara två effektivvärden, två topp-topp-värden, strömmar, spänningar eller något annat. Det har visat sig praktiskt att ange sådana förhållanden i enheten *decibel* enligt

$$dB = 20 \cdot \log \frac{U_{ut}}{U_{in}}$$

Exempel

> En audioförstärkare matas med insignalen 10 mV (RMS). På utgången mäter man spänningen 1,00 V (RMS). Vilken är förstärkningen i decibel?

Det blir samma dB-värde om spänningarna är topp-topp-värden eller något annat så länge man jämför ”äpplen med äpplen”. Det är kvoten mellan dem som är intressant.

För **effekter**[2] (dvs **inte amplitud**värden av spänning eller ström) beräknas decibel enligt

$$dB = 10 \cdot \log \frac{P_{ut}}{P_{in}}$$

En fördubbling av effekten motsvarar +3 dB, en halvering av effekten –3 dB. En förstärkning av 10 gånger från 1 W till 100 W motsvarar 20 dB, motsvarande försvagning ($\frac{1\ W}{100}$) blir –20 dB osv.

Enheten *Bel* är en effektkvot. Orsaken till att konstanten 20 i första decibeluttrycket ändrades till 10 i ekvationen ovan kan man härleda genom att sätta $P = RI^2$ och använda logaritmlagarna för att få

$$dB = 10{\cdot}\log \frac{P_{ut}}{P_{in}} = 10{\cdot}\log \frac{RI_{ut}^2}{RI_{in}^2} = 10{\cdot}\log\,(\frac{RI_{ut}}{RI_{in}})^2 = 10 \cdot \log\,(\frac{I_{ut}}{I_{in}})^2 = \underline{20}{\cdot}\log \frac{I_{ut}}{I_{in}}$$

Då ohms lag gäller är strömförhållandet lika med spänningsförhållandet och faktorn 20 förklarad. Använd alltså faktorn 10 vid effektförhållanden och 20 vid spänning- eller strömförhållanden.

3.5 Bandbredd

Om man påför en växelspänning på en förstärkare ska förstärkaren ge en förstorad version av *samma* kurvform på utgången. En ideal förstärkare har konstant förstärkning över alla frekvenser. Verkliga förstärkare har dock en begränsad *bandbredd*. Detta är inte bara en nackdel, till exempel behöver vi inte förstärka signaler utöver de vi kan höra i en stereoförstärkare.

Ökar vi frekvensen och noterar utsignalens amplitud kommer vi finna att förstärkaren vid höga frekvenser inte förmår att återge signalen med samma amplitud längre. Amplituden blir lägre vid höga frekvenser för att vid ännu högre frekvenser gå mot noll. Är man noggrann och gör samma sak mot lägre frekvenser kommer man märka att även mycket låga frekvenser (under 10–40 Hz i en vanlig stereoförstärkare) också dämpas. Med bandbredd menas det användbara området där återgivningen är bättre än –3 dB jämfört med maxamplituden.

[2] dB presenteras här egentligen i omvänd ordning. Det är i första hand ett sätt att representera *effekt*förhållanden logaritmiskt. ”$\cdot 10$” används för att inte behöva hantera decimaler onödigt ofta. En följd av detta blir som vi sett att logaritmiska *spännings*förhållanden multipliceras med 20 för att erhålla ett decibelvärde.

Förstärkningskurvor ritas med fördel på log-papper, dvs koordinatsystemet i x- och/eller y-led är logaritmiska. I *linlog*-diagrammet är endast x-axeln logaritmisk. Ska man fylla i amplitudvärden, A, i detta diagram får man först själv utföra logaritmeringen till decibel i en tabell:[3]

frekvens	A, V	$20 \log A$

Övning. Vilken *spänningsförändring* motsvarar +3 dB respektive –3 dB?

3.6 Komponenter

Typiska komponenter som har speciella egenskaper vid växelström är kondensatorn och spolen. Här behöver vi bara ägna tid åt kondensatorn då allt mynnar ut i det s.k. RC-nätet. Det är principiellt inte krångligare att även inkludera spolens egenskaper i diskussionen men då det inte behövs för denna kurs utelämnar vi den här.

3.6.1 Kondensator

En kondensator består av två elektriskt ledande ytor placerade på ett mycket litet avstånd mellan sig. Mellan ytorna finns ett *dielektrikum*, en isolering, kanske bestående av luft men är i komponenter ofta en tunn plastfolie. Mellan plattorna kan man mäta upp en *kapacitans* beroende på hur stor yta plattorna har mot varann och deras avstånd mellan varann. Kapacitansen anger

[3] Man får då också ofta att amplituden ändras med ett konstant antal decibel per dekad (frekvens-tiodubbling) eller oktav (frekvensfördubbling).

hur mycket laddning en kondensator kan härbärgera. Kapacitans uttrycks i ”laddning per kvadratmeter” och mäts i farad (F).

För en kapacitans C gäller enligt gymnasiefysiken att

$$C = \frac{Q}{d} = \epsilon \, \frac{A}{d}$$

där A är arean hos en av plattorna och d dielektrikats tjocklek. ϵ är dielektricitetskonstanten vars värde kan man hitta i formelsamlingar och är för luft 1.0, för andra dielektrika ofta några gånger större. Vi kommer här aldrig att beräkna kapacitans enligt den här formeln men den kan underlätta för att förstå parallell- och seriekoppling av kondensatorer:

Lägg märke till att det här är precis tvärs om jämfört med parallell- och seriekoppling av motstånd! Att kapacitansen **blir större vid parallellkoppling** följer naturligt av att ytan hos ”plattorna” ökar, vilket ger ökad möjlighet att hysa elektroner dvs ökad kapacitet, kapacitans.

Enheten farad är en mycket stor enhet. I elektronik är kondensatorers storleksordning från några 10-tal pikofarad, pF till någon millifarad, mF. Man brukar inte ange kapacitans i annat än pikofarad eller mikrofarad, dvs man säger hellre $10\ 000\ \mu F$ än $10\ mF$.[4]

Eftersom kondensatorn inte har kontakt mellan plattorna upplevs den som ett avbrott för likström. Mellan de båda plattorna finns i likströmsfallet ett konstant spänningsfält. För växelström kommer fältet att byta riktning beroende på den pålagda spänningen vilket i slutändan gör att en ström faktiskt kan ta sig genom mellanrummet. Det visar sig att det är lättare för växelström med *högre* frekvenser att flyta genom kondensatorn.

Kondensatorn beter sig som ett *växelströmsmotstånd*, en *kapacitiv* reaktans. ”Motståndets” värde är reaktansen X_C, vars storlek är en funktion av kapacitans och frekvens enligt

[4]Det *finns* trots detta även s.k. superkondensatorer i storleksordningen flera farad.

Förhållandet mellan ström och spänning för en kondensator kan beskrivas med matematik på ett elegant sätt: Antag att spänningen över kondensatorn är $u(t) = U \sin \omega t$. Enligt definitionen på ström (ström är ju laddning per tidsenhet) kan man skriva

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C\frac{du(t)}{dt}$$

Dvs $i(t) = \omega C U \cos wt$ och då $\cos x = \sin(90° - x)$ är i detta fall strömmen fasförskjuten $\varphi = +90°$ jämfört med spänningen, dvs spänningen är fasförskjuten $\varphi = -90°$ jämfört med strömmen.

Lägg märke till att fasförkjutningen betyder att tidpunkten för maximal ström *inte* sammanfaller med tidpunkten för maximal spänning. De är $90°$ skilda.

Ovanstående faktum gör att man helt naturligt använder komplexa tal i växelströmsläran. Vi vet att en multiplikation av en vektor med i är en rotation av densamma med $+\frac{\pi}{2}$ och det är ju precis jämförbart med förskjutningen mellan spänning och ström hos en kondensator.

Man tecknar således kondensatorns impedans som

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} \quad \Omega,$$

och beloppet av impedansen kan skrivas

$$|X_C| = |-j\frac{1}{\omega C}| = \frac{1}{\omega C} \quad \Omega.$$

3.7 Begrepp

Det här var en hel del nytt. Man måste skilja på komponenttyp, egenskaper, värden och faslägen mm. Tabellen nedan sammanfattar de olika termerna, där även spolen med induktansen L infogats.

Komponent	Storhet	Förk.	Enhet	Belopp, $\vert Z \vert$	Fas
motstånd	resistans	R	ohm, Ω	R	$\varphi = 0$
kondensator	kapacitans	C	farad, F	$\frac{1}{\omega C}$	$\varphi = -90$
spole	induktans	L	henry, H	ωL	$\varphi = +90$

En impedans, Z, bestående av både resistans, R, en kapacitans med reaktansen $X_C = \frac{1}{j\omega C}$ och en spole reaktansen $X_L = j\omega L$ med kan skrivas

$$Z = R + X_C = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

med beloppet

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}.$$

Det vill säga en impedans kan vara rent resistiv (bestå av enbart en resistans), rent kapacitiv (reaktans, bestå av enbart en kapacitans) eller en kombination av dessa.

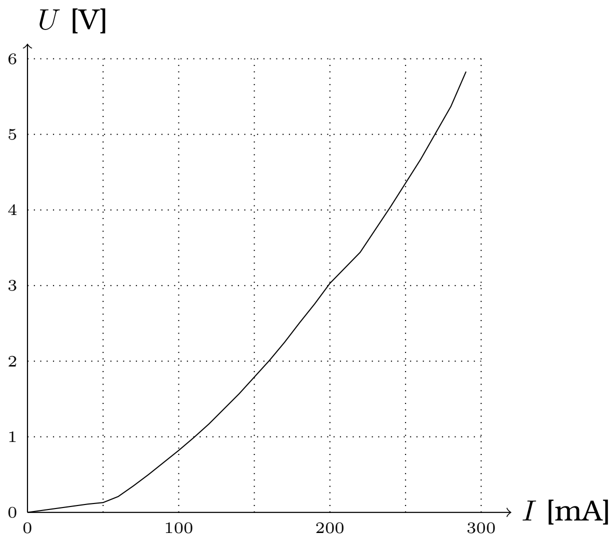
4 Diagram

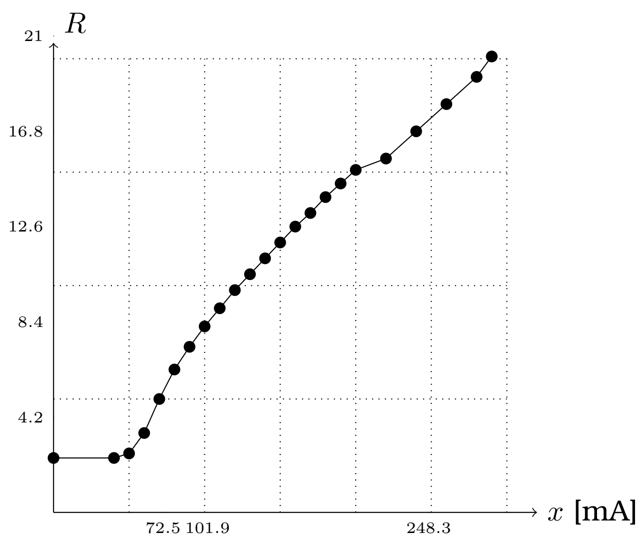
Här visas *lineära* och *logaritmiska* diagram. Det finns många andra typer av diagram för speciella tillämpningar, till exempel stapeldiagram och tårtdiagram. Stapeldiagram kräver att den horisontella axeln är indelad i *kategorier* och används exempelvis för att redovisa försäljning i enheter per månad (kategori). Tårtdiagram används för att översiktligt beskriva den procentuella fördelningen av något.

Vid normal redovisning av mätdata används dock huvudsakligen lineära och logaritmiska diagram. Det är dem vi skall betrakta här.

Lineära diagram

Du vill förmedla något med diagrammet. Se alltså till att kurvan blir läsbar och begriplig. Gör den inte onödigt svårbegriplig eller så liten att den blir svårläst. Till vänster ett välliknande diagram, till höger ett med flera brister:





Skalmarkeringar och skaltreck skall vara av typen 0, 1, 2, 3, 4, 5 osv inte de mätvärden du vill förmedla. Om det är befogat kan intervallen mellan skalstrecken minskas, 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 . . . .

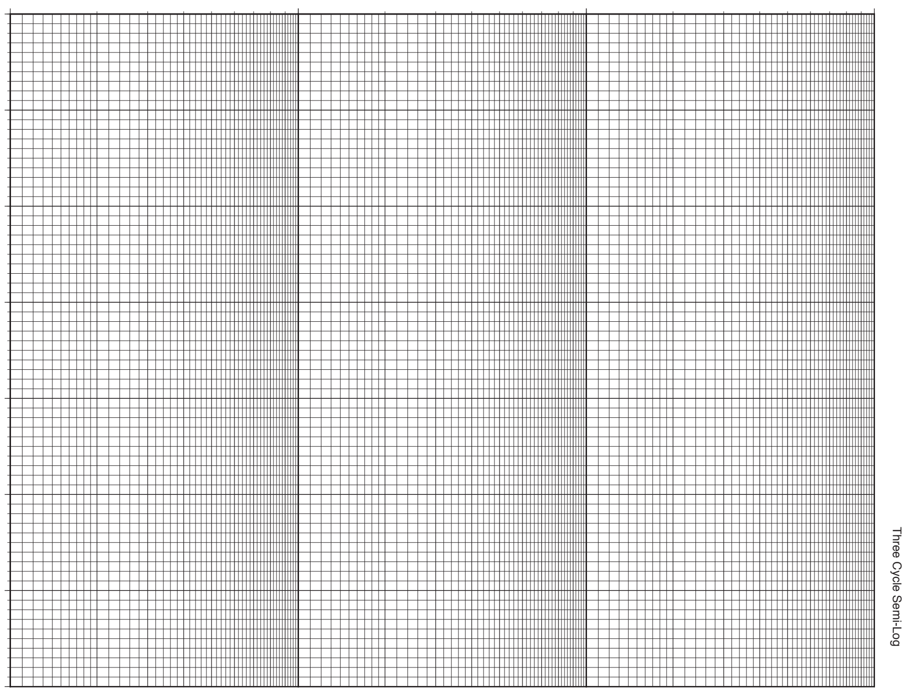
Några punkter att tänka på:

- Använd vettiga skalor.
- Markera origo.
- Ange vad som utgör x- och y-axlarna.

- Använd enheter på skalorna.
- Låt mätvärdena fylla ut diagramytan.
- Ha samma avstånd mellan skalvärdena, både i numeriskt värde och avstånd.

Olineära diagram

Bland det vanligaste för tekniska tillämpningar inom elektronik, reglerteknik, signalbehandling, filterteori osv är det *logaritmiska* diagrammet. Om enbart x-axeln är logaritmisk kallas det *linlog*-diagram eftersom y-axeln är lineär. Linlog-diagrammet nedan täcker hela tre *dekader* längs x-axeln, exempelvis frekvensområdet 1–10–100–1000 Hz.



För att visa frekvensgången (förstärkning som funktion av frekvensen) hos, till exempel, en förstärkare utgörs y-axeln av en decibel-skala varför man själv får beräkna dB-värdet innan det förs in på den lineära y-axeln. Själva y-axeln har alltså samma avstånd mellan varje dB, men värdena är logaritmerade.

Övningar

För att bekanta dig med diagramtyperna kan du prova enligt punkterna neda. Rita *för hand*[1], tänk över skalorna, skalindelning och slutligt resultat.

[1] Ja, för hand. Det är nästan omöjligt att tvinga ur de vanligaste kalkylprogrammen ett acceptabelt tekniskt diagram. Försök inte ens.

1 Rita grafen för $f(x) = x^2$ respektive $f(x) = x^3$ och deras logaritmer i ett diagram med linär x-skala.

2 Rita grafen för $f(x) = x^2$ respektive $f(x) = x^3$ och deras logaritmer i ett diagram med logaritmisk x-skala.

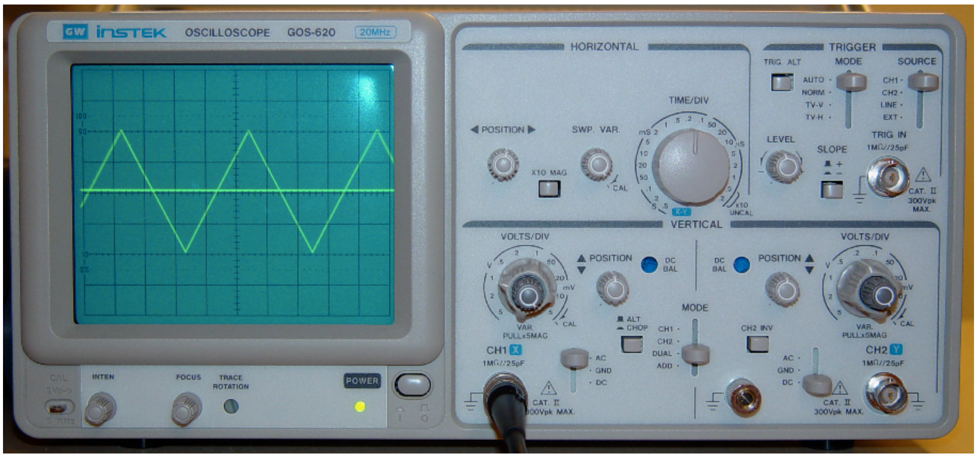
3 Rita beloppet av reaktansen som funktion av frekvensen för $f(\omega) = \frac{1}{j\omega C}$. Antag C=18 μF. Prova i både lineär och logaritmisk skala. Vilken blir snyggast?

4 Som ovan fast för $f(\omega) = \frac{1}{\omega^2 - 5}$.

5 Rita beloppet $|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$ som funktion av frekvensen f och som funktion av vinkelfrekvensen $\omega = 2\pi f$ då L=10 mH, C=18 μF, R=15 Ω.

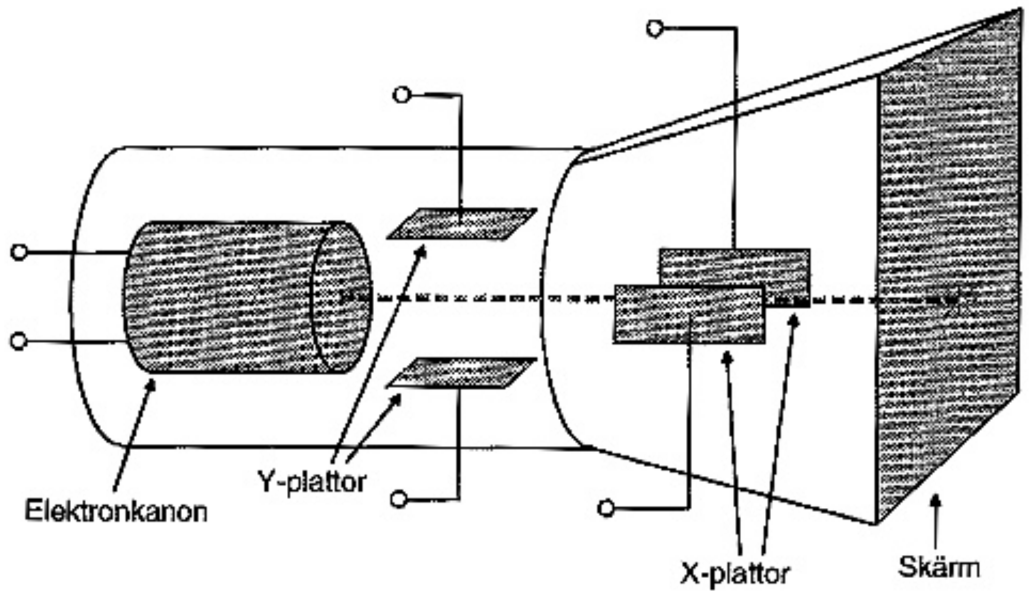
4.1 Oscilloskop

Elektronikonstruktörens verkliga arbetshäst är oscilloskopet. Multimetern används mycket men ger inte på långa vägar samma detaljerade information som oscilloskopet. När det gäller felsökning är oscilloskopet oumbärligt. *Utan oscilloskopet står man still.*



Med ett oscilloskop kan man analysera kurvformer av spänningar på en skärm. Det finns inställningsmöjligheter för tidsskala (X-axeln) och spänningsskala (Y-axeln). Dessutom kan oscilloskopet visa två signaler samtidigt på två s.k. *kanaler* (CH1 och CH2). Skärmen kan dock inte frysa bilden varför det krävs att förloppet återkommer tillräckligt ofta för att det skall visa sig utan att blinka.

På oscilloskopets skärm ritas spänning som funktion av tid. Spänningen ritas i y-led medan tiden löper i x-led. Det finns ganska många inställningsmöjligheter: olika amplitudskala i y-led, olika tidsskala i x-led, chopprat eller alternerande svep, olika triggmöjligheter osv. De många inställningsmöjligheterna brukar leda till att oscilloskopet uppfatts som någonstans mellan magi och obegripligt. Det är synd och fel. Oscilloskopet är i grunden ett enkelt och praktiskt instrument och genom att känna till dess grundläggande konstruktion framstår det som mycket begripligare. Speciellt måste vi titta på *tidbasen* och *triggern*.

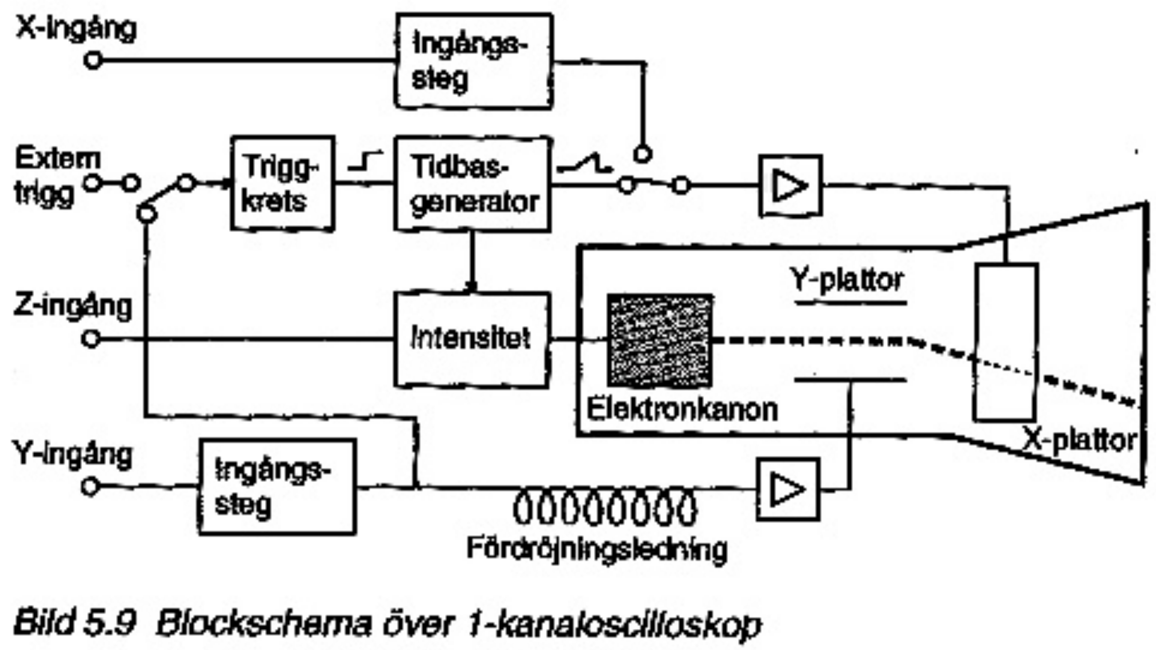


Katodstråleröret som ritar upp oscilloskopsbilden. Spänningar på X- respektive Y-plattorna styr elektronstrålen. *Ur: Carlson, Johansson. Modern elektrisk mätteknik, Liber.*

Genom att lägga på spänningar i x- respektive y-led kan man rita en punkt på olika delar av skärmen. Spänningen i x-led styr var punkten är i sidled och spänningen i y-led styr var punkten är i höjdled. Oscilloskopets insignal låter vi styra punkten i höjdled.

Tidbasen

För att rita insignalen i x-led på skärmen används en sågtandskurva i oscilloskopet. När sågtandskurvans spänning är minst startar är den i skärmens vänsterkan och när den är som störst är punkten i högerkanten. På detta sätt har man skapat ett *svep* från vänster till höger på skärmen. Ett svep kan göras så långsamt att man ser punkten flytta sig över skärmen men oftast är svepet så snabbt att man bara ser ett streck på skärmen.



Oscilloskopets blockschema. Trigg och tidbas är centrala. Bilden visar bara en kanal (det finns två). *Ur: Carlson, Johansson. Modern elektrisk mätteknik, Liber.*

Med ratten TIME/DIV (*time/division*) styr man hur snabbt svepet skall vara. För att kunna mäta tid på skärmen har ratten en skala och man kan till exempel välja att en centimeterstor ruta på skärmen skall motsvara en millisekund.

Ratt för inställning av tidbas, 0.5 s/div – 0.2 $\mu s/div$.

Triggern

Med svepet igång kan vi låta insignalen påverka punktens läge i höjdled. Har vi tur kommer insignalen återkomma på samma ställe på skärmen varje gång och vi kan då lätt se den. Sannolikheten är dock större att insignalen inte ligger i takt med svepet och då kommer den ritas upp på olika ställen vid varje svep, skärmen blir ett virrvarr av linjer och vi kan inte läsa av något vettigt alls.[2]

[2]Tidiga oscilloskop var konstruerade på detta sätt och man fick ändra tidbasen tills bilden stod still. Sedan uppfann Tektronics triggern och slog undan fötterna på nästan alla andra oscilloskoptillverkare. Så kan det gå!

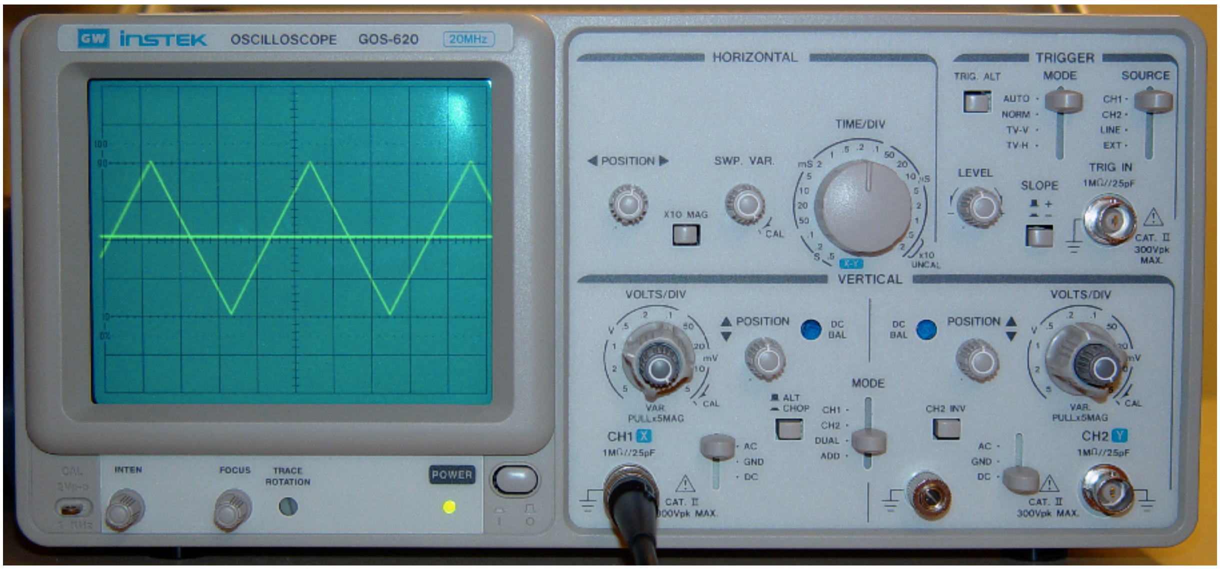
För få signalen att ritas upp på samma ställe varje gång, använder man en *trigg-krets*. Denna utnyttjar insignalens amplitud för att släppa i väg svepet. För att svepet ska starta krävs att insignalen överstiger en viss spänning, *trigg-spänningen*. Om insignalen består av ett återkommande förlopp och startas på samma ställe kommer naturligtvis kurvan att vara still och man kan betrakta och mäta på den.

Chopprat och alternerande svep

De oscilloskop som används i kursen kan visa två kanaler samtidigt. Knappen ALT/CHOP avgör hur de båda kanalerna ska presenteras. I läget ALT, *alternerande svep*, visas först den ena kanalen och sedan den andra, dvs vartannat svep visar varannan kanal. Om tidbasen är ställd på ett snabbt förlopp ser det då ut som att båda kanalerna visas samtidigt.

Vid långsamma förlopp blir ALT-inställningen problematisk då man bara ser ena kanalen och först nästa svep andra kanalen osv. Med knappen i läget CHOP, *chopprat svep*, visas någon millimeter av ena kanalen, sedan byter den och visar någon millimeter av andra kanalen, varefter den byter tillbaka osv. På detta sätt kan man även vid mycket långsamma förlopp se två samtidiga kurvor på skärmen.

Exempel



I bilden ovan visas oscilloskopet med en signal ansluten till ena kanalen, CH1. Man kan se att det är en trekantssignal med amplituden 2 enheter och periodtiden 4 enheter. Inställningarna 1 volts/div (det *vänstra, nedre, mindre vredet) och 0.2 ms time/div (det övre stora vredet) ger att amplituden i figuren är 2 V (2·1) och periodtiden 0.8 ms (4·0.2).*[3] *Kanal 2, CH2, är inte ansluten, dess inspänning är då noll volt vilket resulterar i det horisontella strecket på skärmen.*

Signalen ansluts via en s.k. *mätprob* och oscilloskopet visar signalens potential relativt 0 volt. Detta medför att probens ena anslutning (den med krokodilklämma) **måste** anslutas till 0 V.

■

Är du osäker på oscilloskopets inställningar? Fråga handledaren.

o-x=Ö=x-o

[3] Då frekvensen är 1/periodtiden blir frekvensen i detta fall 1.25 kHz.

4 Diagram

Three Cycle Semi-Log